

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 101-00-5-17

應力波斷面顯像技術在漂流木應用之研究
Investigation on drift wood quality using stress-wave
tomography techniques



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立中興大學

中華民國 102 年 6 月

<研究團隊>

計畫主持人：國立中興大學森林學系 楊德新 助理教授

計畫工作人員：

<u>機</u>	<u>關</u>	<u>名</u>	<u>稱</u>	<u>單</u>	<u>位</u>	<u>名</u>	<u>稱</u>	<u>研</u>	<u>究</u>	<u>人</u>	<u>員</u>	<u>職</u>	<u>稱</u>
國立中興大學				森林學系				楊德新				助理教授	
國立中興大學				森林學系				林志憲				博士班研究生	
國立中興大學				森林學系				陳建銘				碩士班研究生	
國立中興大學				森林學系				林育群				碩士班研究生	
國立中興大學				森林學系				賴玟融				碩士班研究生	
國立中興大學				森林學系				趙偉成				碩士班研究生	

一、中文摘要

本計畫利用橫向應力波斷面顯像技術進行漂流木之材質分析研究，透過顯像技術，評估木材內部健全狀態，並以破壞試驗評估其強度，最後完成應力波斷面顯像技術手冊，以供為將來現場評估作業之參考。研究結果指出，利用斷面影像技術評估木材內部缺陷時，當孔洞面積約為1%時可偵測出其與周圍之差異，孔洞面積達約3%時則可明顯偵測出與周圍的差別，因此，可利用應力波斷面影像技術評估木材內部缺陷大小和位置。以三種具有標售價值之台灣檫、樟木與紅檜之斷面顯像圖形以平均音速（ V_m ）與孔洞面積進行分析結果，顯示音速值與孔洞面積成良好之相關性，其 R^2 值達0.94-0.98；而以此法評估實大漂流木之抗彎強度方面亦呈良好之正相關性，其相關係數達0.91，因此，以此法可以作為判定漂流木原木抗彎強度之依據。而應用斷層顯像技術於現場漂流木之評估方面顯示，可搭配應用縱向應力波法和斷面顯像技術進行漂流木之檢測，此法可較目視判別更有效與準確的評估漂流木內部材質狀態。

關鍵字

漂流木、應力波法、斷面顯像技術、

二、英文摘要

The purpose of this study was to evaluate defects in drift wood using a stress-wave tomography technique. The mechanical properties of drift wood logs after detecting by tomography technique were also investigated by destructive testing. Results indicated that differences in the mapped colors and stress-wave velocities between the hole area and its surrounding area were obvious, and when the ratio of the hole area to the cross sectional area exceeded 3%, the hole was detectable by stress-wave tomography. There were well relationships between the mean stress-wave velocity values (V_m) and hole areas, the R^2 values ranged from 0.94 to 0.98. Additionally, well relationships between the mean stress-wave velocity values (V_m) and bending properties of drift wood logs were also demonstrated, the R values was 0.91. Based on the results of these experiments, the stress-wave tomography technique could provide incipient information of wood quality effectively. Further, application of longitudinal stress-wave method and stress-wave tomography technique to evaluate the different degrees and kinds of defects in the central areas of drift wood logs was more effective and accurate than visual testing.

Keywords

Driftwood, stress-wave method, tomography technique

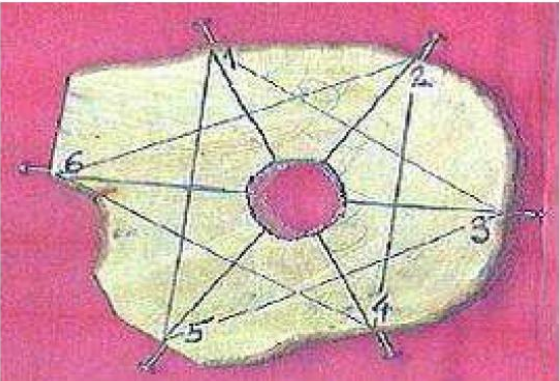
三、計畫目的

西太平洋的颱風多半都發生在菲律賓以東的海上，如加羅林群島等地，這些地方都是在北緯 10 度左右，也就是在東北信風帶內，同時太平洋上在夏季經常有高氣壓，颱風形成後就跟隨高氣壓南緣的順時針環流向西至西北行進，有時也會向西北或更偏北的路線行進。當颱風漸漸行進到北緯 20 至 30 度間時，已到高氣壓的西側邊緣，而漸轉向北進入西風帶，受西風影響轉向東北。菲律賓、臺灣、琉球及日本等地，台灣即因位於颱風常經之路，因此長年來屢受颱風的侵襲而發生災害。其中，最近且最為嚴重者即是中華民國九十八年八月八日因莫拉克颱風所形成之八八水災，除重創台灣東部與南部地區，造成重大之傷亡與財產損失外，而其後所衍生而來的更是數以萬噸計的漂流木所造成的問題，如大量之漂流木淤積於水庫與港口等，造成船隻進出困難，或是成群堆疊於岸邊或沙灘上。據林務局統計，莫拉克風災所造成的漂流木於後續處理清運上達 152 萬公噸，數量相當龐大。在這些為數龐大之漂流木中，可區分為具有經濟價值者與不具經濟價值者，其中又以被歸類為不具經濟價值之雜木類為大宗，不論其經濟價值高低，這些漂流木中不乏許多徑級大、材質優良之木材可供將來利用，因此若能於現場將此類漂流木進行分類與分級將可有效地節省後續之處理時間。

受惠於近年非破壞性檢測技術 (Nondestructive testing, NDT) 的發展，目前該技術已應用在立木材質與木質材料材質的評估及監測上。如超音波影像法 (Ultrasonic imaging)，音響斷層影像 (Acoustic tomography)，應力波斷層影像 (Stress-wave-based tomography)，電腦斷層攝影法 (Computed tomography) 等。其中，應力波及超音波技術為基礎的影像技術 (Imaging techniques)，相較於其他技術設備，是較為簡單、低成本及有效率的。應力波檢測評估材質的原理，依據 Wang *et al.* (2004) 指出，木材中的應力波傳播是一種動態過程方法，它直接密切關係到木材物理及機械性質，一般，在健全材質及高品質材中，應力波穿透時間比在有劣化狀況及低品質木材中為快，轉換成單位距離的傳播時間加以比較，樹木材質可以獲得某一水準的瞭解。應力波檢測樹木腐朽劣化的觀念，它是藉由打擊裝置在樹木上，裝有加速度計 (Accelerometer) 之衝擊設備 (如錘子) 上，係產生應力波，第二個加速度計，感應所引導激起的傳播應力波並傳送到停止信號的計時器，這個測定時間，轉變成單位長度為基礎的傳播時間 (或以傳播速度 [單位時間的速度] 來表示)，這些可以泛指傳播 (Propagation) 資訊。但傳播時間會因為樹種不同，有不同反應機制外，應力波特性和木理方向的不同而變化，當木材存在劣化情形時，會影響傳播時間，愈嚴重時，其傳播時間有愈大的趨勢 (Sandoz, 1994)。而應力波檢測技術由最初的兩個轉換器，漸漸結合較多的轉換器，並配合分析程式軟體，進而發展斷面影像系統，作為快

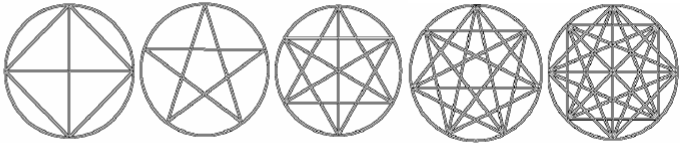
速、可定位及定量材質評估方法之一，實務上可再結合其它定量性儀器評估其材質。其中，匈牙利 FAKOPP ArborSonic 3D 儀器便是以此方法將原本兩個感應器的線狀應力波儀，利用多通道技術配合斷層攝影技術使其能以 2D 與 3D 顯像圖形顯示出原木斷面材質狀況，表 1 為當存在 5 公分的人造孔洞時，其應力波相對速度衰減 (Relative velocity drop, RVD) 可以看的出來只要線狀經過孔洞 RVD 就會增加，利用此原理配合斷層攝影 (Tomography) 技術則可以降低誤差，當感應器越多時其交叉感應線越多，當感應線越多其能偵測的孔洞面積就越小誤差也越小 (表 2)

表 1、應力波偵測孔洞示意表 (摘自 www.fakopp.com)



Direction	Relative velocity change [%] ($V - V_{ref}$)/ V_{ref} *100		
	Intact	hole diam. D=5cm	hole diam. D=9cm
1 - 4	1.6	11.2	19.2
1 - 3	2.4	4.8	5.0
1 - 5	0.9	1.2	2.7
2 - 5	2.1	9.6	18.5
2 - 6	1.4	2.4	3.0
2 - 4	0.5	4.7	4.6
3 - 5	0.2	2.2	2.2
3 - 6	0.4	10.3	16.9
4 - 6	1.7	3.1	4.8

表 2、多路徑應力波偵測示意表 (摘自 www.fakopp.com)

Setup					
	4	5	6	7	8
Number of test points	4	5	6	7	8
Number of measurements	6	5	9	4	20
Number of reference velocities	2	1	2	2	3
Minimum detectable defect	8%	6%	3%	4%	1%

本研究即利用此原理與儀器設備進行應力波斷面顯像技術於漂流木斷面材質健全度之評估，同時結合縱向應力波法評估漂流木材質，提供此類木材將來利用型態之基礎；有效地利用此法可將材質優良者選出，亦可節省後續處理時間以及改善對於材料安全不確定性之疑慮。同時本研究將結合應力波斷面顯像技術研究成果，以應力波斷面顯像技術應用於漂流木材質檢測為基礎，編定應力波斷面顯像技術應用手冊，協助相關現場人員利用此檢測技術於未來木材材質之評估。

四、重要工作項目及實施方法

(一) 重要工作項目

本計畫「應力波斷面顯像技術在漂流木應用之研究」，主要利用非破壞檢測技術進行漂流木之材質評估，建立漂流木材質檢測之基礎資料，並編定應力波斷面顯像技術手冊，以供未來漂流木材質評估之參考。

(二) 實施方法

1. 試驗材料

首先以國產樟樹(*Cinnamomum camphora*)、台灣欒(*Zelkova serrata*)與紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)等三種具標售價值之漂流木樹種(散孔材、環孔材與針葉樹)圓盤，於研究室內進行人工孔洞之挖鑿與應力波斷面顯像之關係試驗，評估橫向應力波斷面影像與實際孔洞之相關性，以做為未來評估漂流木之參考；次以漂流木現場所取樣之漂流木進行應力波斷面顯像之檢測與評估。

2. 應力波檢測技術評估

(1) 縱向應力法：

本試驗係利用 2 點式應力波儀 (FAKOPP Enterprise, Fakopp Microsecond Timer) 進行，其一端為脈波發振器 (Pulse generator) 另一端為波動接受器 (Receiver)，試驗時直接貼附於試片兩端，使音波傳遞過試片，直接測定其所需時間，再依次式計算出其速度 (V_{LS}) 與動彈性模數 (DMOEs)

$$V_{LS} = \frac{L}{t} \quad (1)$$

$$DMOE_s = v_{LS}^2 \times \rho \quad (2)$$

V_{LS} 為音速 (m/s)， L 為試片長 (m)， t 為時間 (sec)， ρ 為密度 (kg/m^3)。

(2) 橫向應力波法(Stress wave method)：

本試驗使用應力波斷面顯像儀（FAKOPP ArborSonic 3D）以 8 組應力波探頭偵測器釘著於漂流木之橫斷面，藉由一端應力的傳遞，可於另 7 端進行接收，透過應力傳遞時間不同的演算，進行漂流木原木之斷面顯像分析，此方法將原本兩個感應器的線狀應力波儀，利用多通道技術配合斷層攝影技術使其能以 2D 影像圖形顯示出原木斷面材質狀況。

斷面顯像圖利用 Fakopp Arborsonic 3D 軟體，藉由 Fakopp 3D 儀串連至電腦讀取試驗參數進行繪製，其影像繪製方式分為三階段，先將 Fakopp 3D 傳入之傳遞時間利用 Hankinson's Formula 以及軟體既有木材資料庫數素值將其轉換成均向傳遞時間，再計算各路途徑傳遞音速值，利用內插法繪製成斷面顯像圖形（圖 1）。而以往僅針對各單路途徑進行探討，但本研究利用多路途徑分析，希望能提供缺陷大小和位置之判讀，因此將輸出之斷面顯像圖利用 Adobe Photoshop 軟體計算其灰階值，以每 2 cm × 2 cm 大小之比例計算其每格灰階值，接著輸入其樣本參考值計算其分區音速值（ V_a ），將其數值匯入 MatLab 輸出，再將其與斷面顯像圖形進行比較。

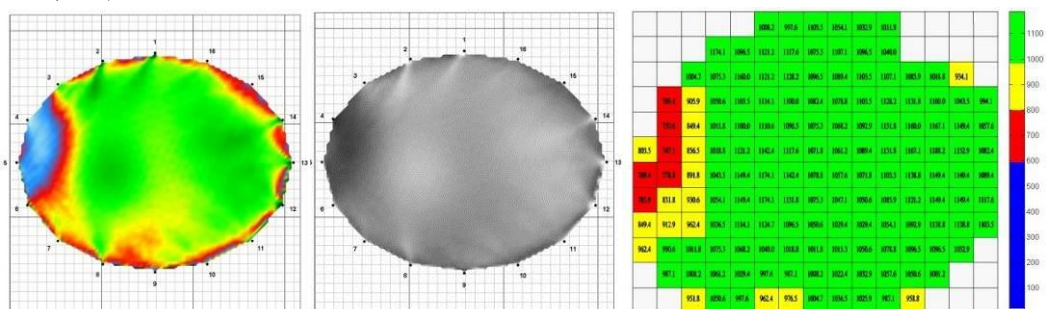


圖 1、斷面影像轉換過程。

(3) 抗彎試驗：

將經非破壞試驗後之木材進行抗彎試驗，並依(3)、(4)式計算其破壞強度（MOR）與比例限度內之抗彎彈性模數(MOE)。

$$MOR = \frac{P_{\max} l}{bh^2} \quad (3)$$

$$MOE = \frac{\Delta P(l-s)[2l^2 + 2ls - s^2]}{8\Delta\delta bh^3} \quad (4)$$

P_{\max} 為最大載重 (kgf)， ΔP 為比例限度領域上限載重與下限載重之差 (kgf)， $\Delta\delta$ 為與 ΔP 相對應跨距中央之撓度差 (cm)， l 為跨距 (cm)， s 為兩載重點距離 (cm)， b 為試片寬度 (cm)， h 為試片厚度 (cm)。

(4) 相關性評估與強度分級：

漂流木試材經非破壞性評估與抗彎強度測定後，進行相關性評估，究明非破壞檢測技術與抗彎強度性質之可信賴性，並進行漂流木之強度分級。

3.應力波斷面顯像技術應用手冊之編定

整理與分析前述試驗結果，編定應力波斷面顯像技術應用手冊，內容涵蓋斷面顯像技術原理、目視評估與敲擊法、應力波斷面顯像儀檢測技術之實施、現場操作流程、應力波斷面顯像儀之案例分析與常見具經濟價值漂流木種類等章節。

五、結果與討論

1. 橫向應力波斷面顯像分析評估

三種具標售價值之樟木 (*Cinnamomum camphora*)、台灣櫟 (*Zelkova serrata*) 與紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*) 中央缺陷圓盤經應力波檢測後，與 Arbosonic 軟體轉置、輸出所繪製之 2D 斷面顯像如圖 2-圖 4 所示。其中，圖 2 為樟木圓盤，圖中顯示 30 mm 時顏色略轉為黃綠色，顯示音速值降低，當 50 mm 時則低音速帶 (黃色) 與周圍材質有明顯的差別，且隨著孔洞之增大，低音速帶區域也持續擴大。圖 3 為台灣櫟圓盤，圖中顯示於 50 mm 時斷面顯像之中央區域，音速值下降 (淺綠色)，達 70 mm 時則與周圍材質有明顯之區別。圖 4 為紅檜圓盤，圖中顯示 30 mm 時中央缺陷區域已呈現淡黃色的低音速區，顯示已能判別此比例之孔洞，此外隨著孔洞大小之增大，低音速帶區域與周圍材質區別更為明顯。因此由以上結果指出隨著孔洞逐漸增大，各圓盤之斷面顯像顏色也由綠轉淺黃，而當孔洞持續擴大，音速值持續的降低，顯像顏色也轉為紅至藍。當孔洞面積比率約 1%，可以偵測到與周圍材質之些微差異變化；當孔洞面積比率約 3% 時，可明顯偵測出中央淺黃色的區域；當孔洞面積比值約 10-15% 時，缺陷部區域影相顏色轉為藍色，代表其音速值明顯之下降；隨著綠色區域持續性的減少。

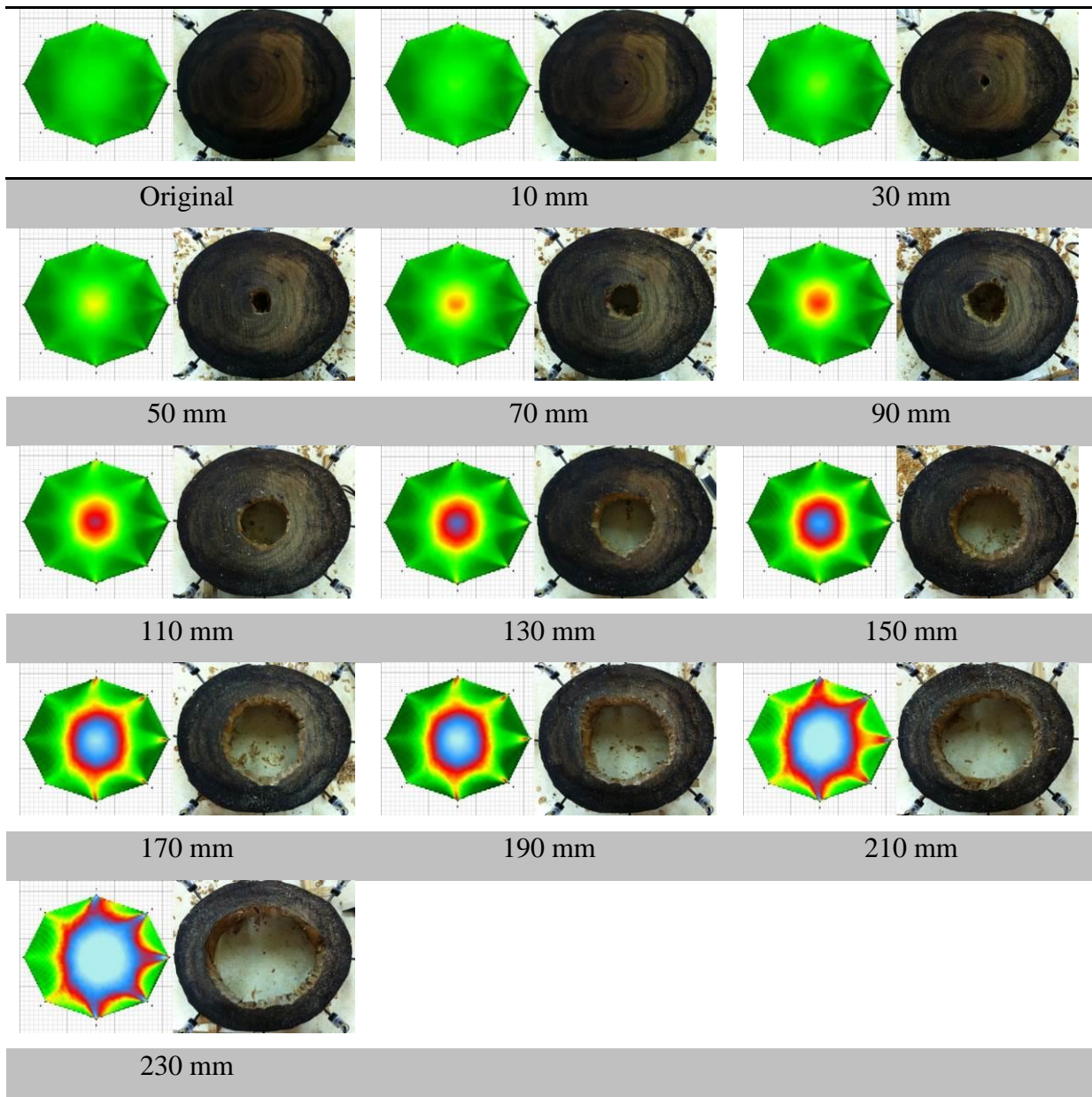


圖2 樟木應力波斷面顯像與中央孔洞木材斷面

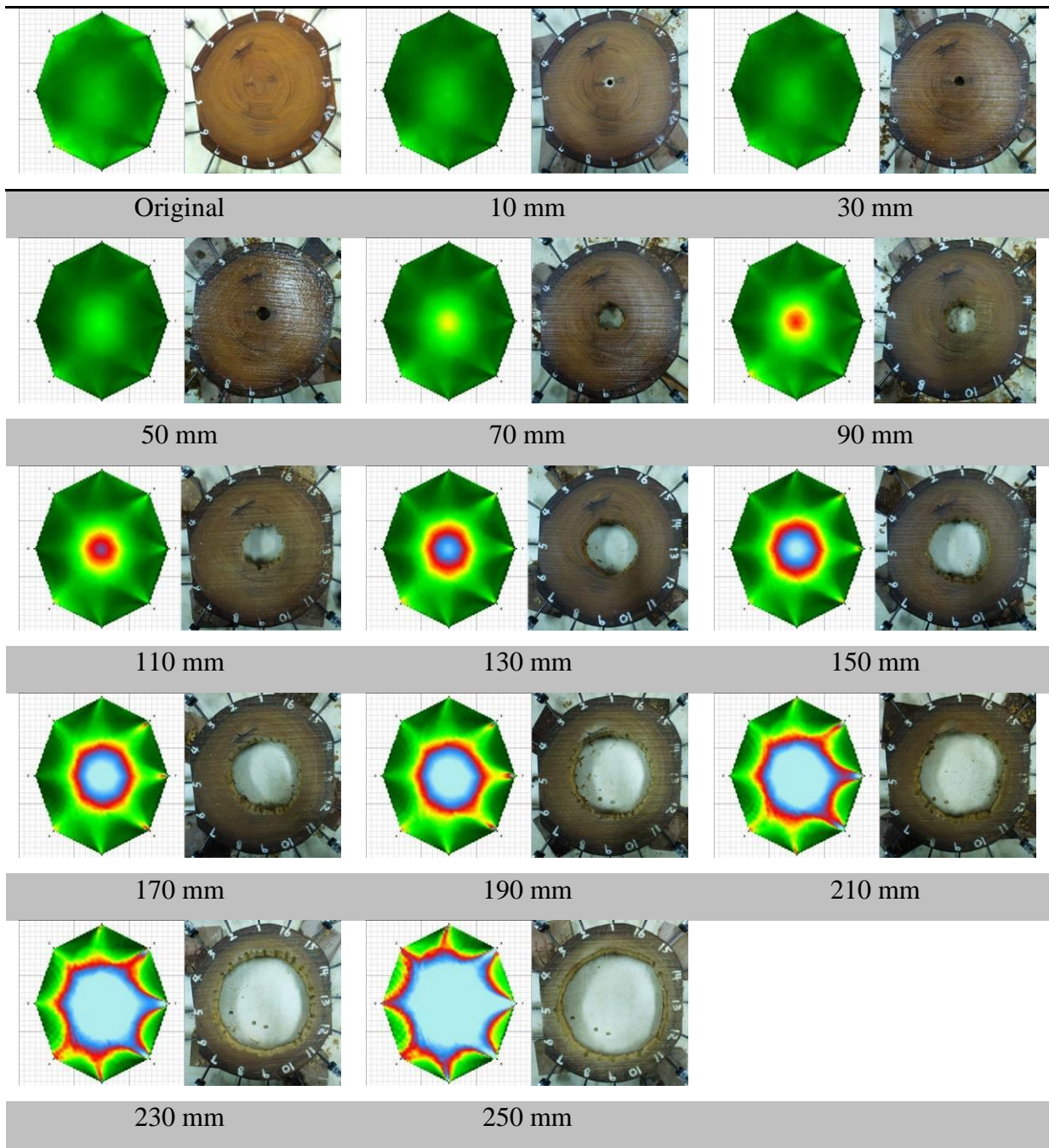


圖3 台灣檫應力波斷面顯像與中央孔洞木材斷面

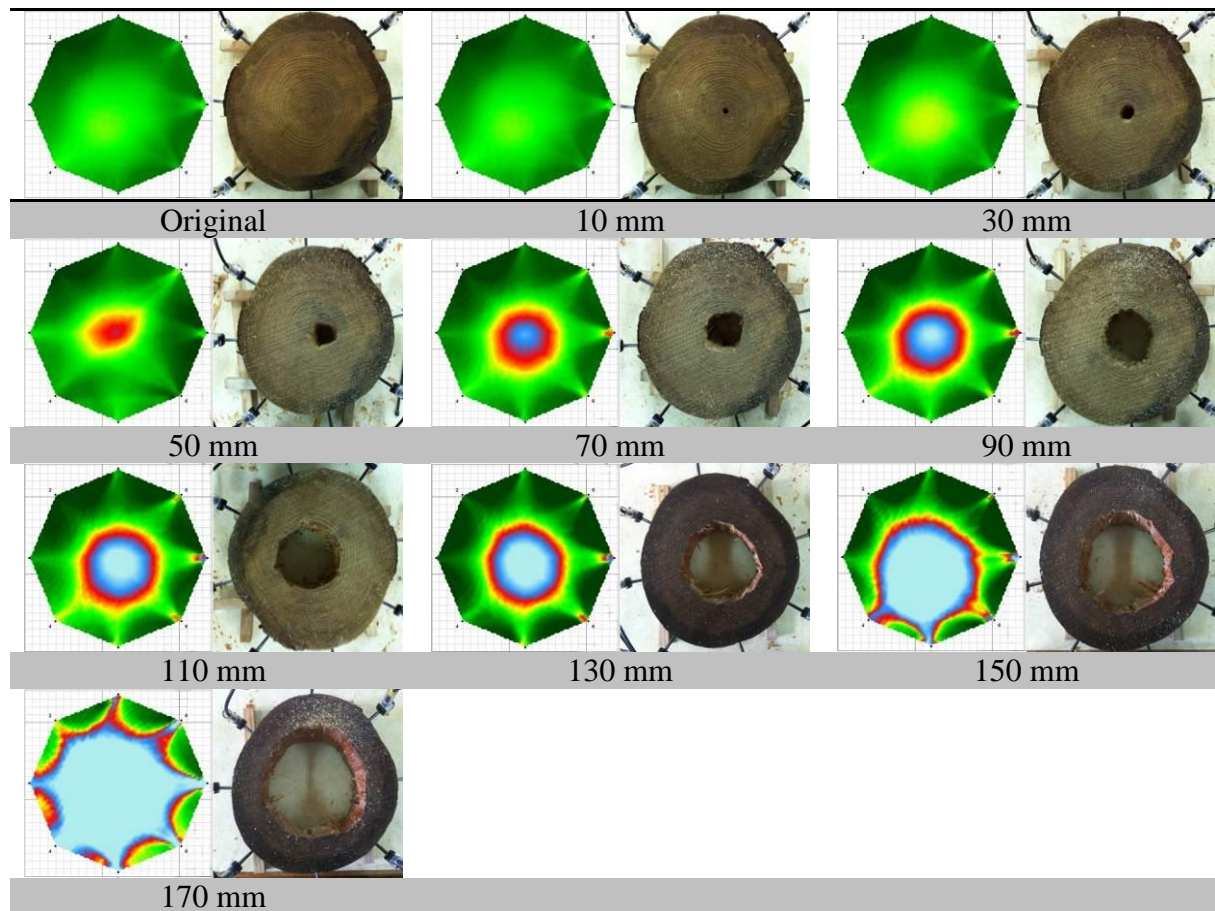


圖 4 紅檜應力波斷面顯像與中央孔洞木材斷面

另外在偏心孔洞實驗結果（圖 5-圖 7）顯示，不同位置之偏心孔洞（台灣檫：3 號探頭旁、樟木：7 號探頭旁、紅檜：4 號探頭旁）斷面顯像顯示出不同位置之缺陷情形，此外隨著孔洞面積增大，斷面顯像亦由綠色轉換為紅色，當孔洞比率持續擴大時，則轉為藍色，代表其應力波速度逐漸降低。由斷面顯像色塊區分結果顯示，台灣檫於 150 mm 孔洞時，其孔洞面積率為 13.3%，斷面顯像上缺陷位置則呈現紅色（圖 5），然而紅檜於 110 mm 及樟木於 150 mm 其孔洞面積分別為 13.8%（圖 6）與 27%（圖 7），此時斷面顯像卻呈現音速值更低的藍色缺陷，此結果亦顯示斷面顯像針對較邊緣之缺陷會有放大缺陷之判讀，其原因為位於邊緣的缺陷型態影響之傳遞途徑較多，因此音速數值較不易判讀，倘若利用更多的探頭來進行繪製，則可越接近實際缺陷型態。此外，在偏心孔洞部分，其孔洞大小並非完全為影響斷面顯像之主因，而須視孔洞面積/健全面積比例而定。

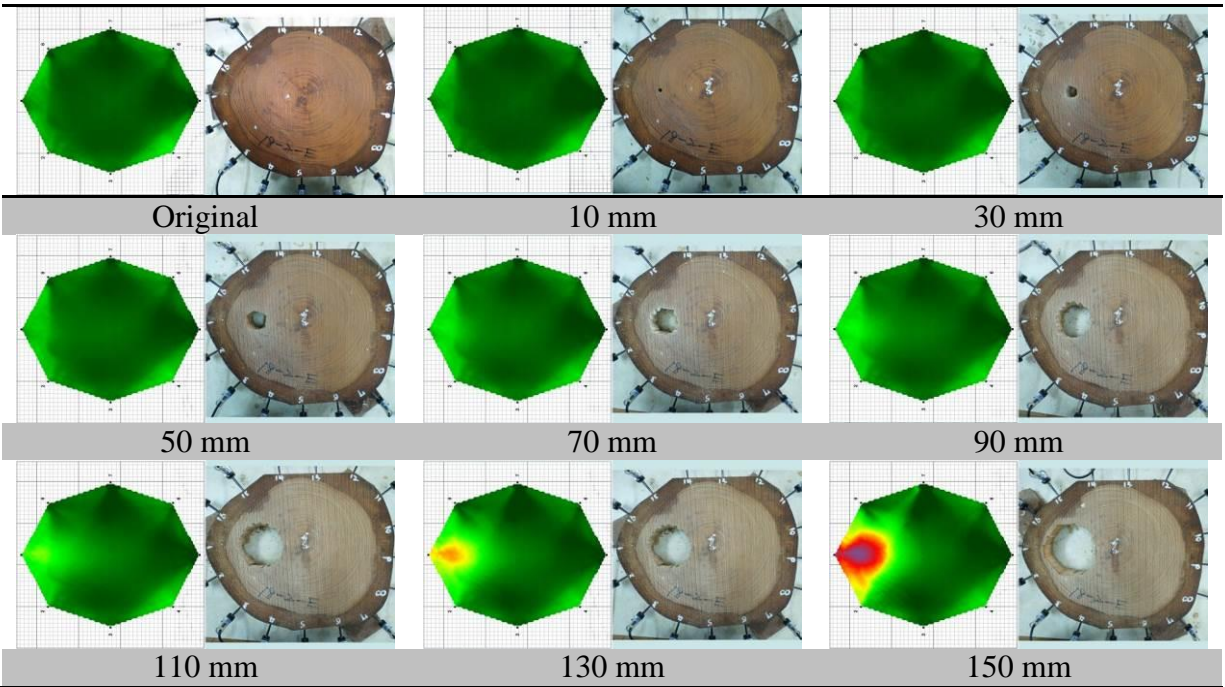


圖 5 台灣櫟應力波斷面顯像與偏心孔洞木材斷面

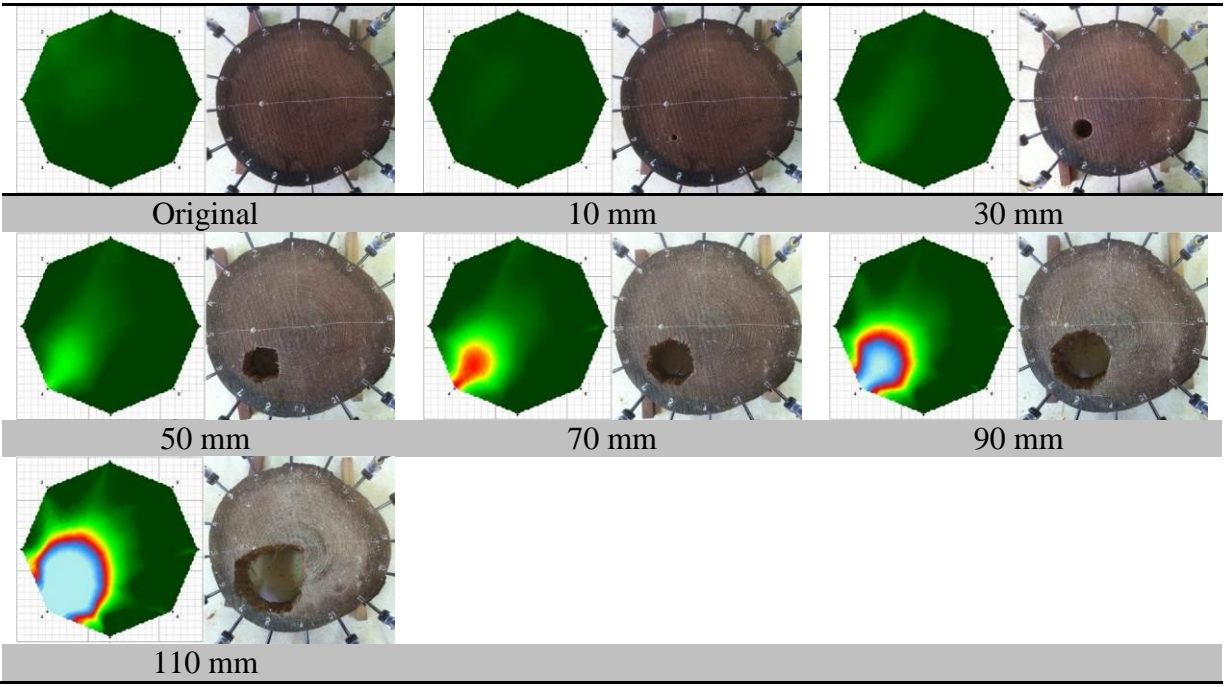


圖 6 紅檜應力波斷面顯像與偏心孔洞木材斷面

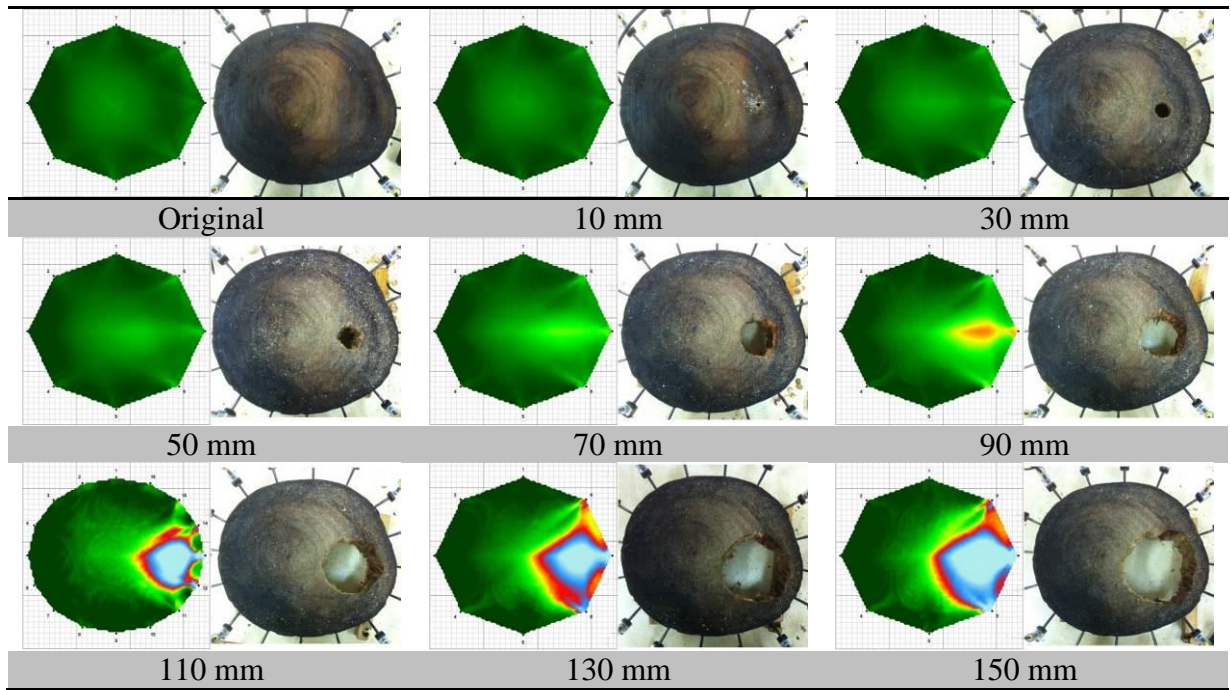


圖 7 樟木應力波斷面顯像與偏心孔洞木材斷面

在過去的研究中，Martints *et al.* (2004) 曾利用超音波儀結合斷層影像技術，以 16 個偵測點方式檢測有腐朽的櫟木斷面，得知其音速分佈在 460-2350 m/s 之間，其中當音速低於 1000 m/s 時，其內部材質有可能發生腐朽或破壞現象（圖 8）。

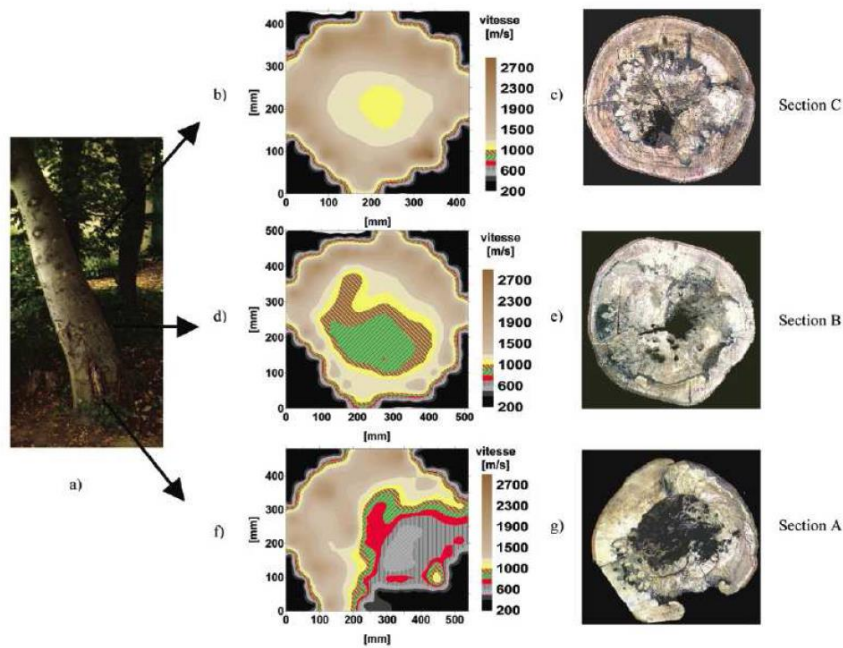


圖 8、斷層影像示意圖 (Martints *et al.*, 2004)

由圖 8 可見，在顏色越接近深棕色其速度越快，其相鄰櫟木斷面材質越好，在斷面 A (Section A) 中其右下方發生嚴重腐朽，因此在圖面上速度也降到低於 600 m/s 以下，由此可以發現以斷層顯像是可以有效發現腐朽的，但相對的，在斷面顯像中亦可以發現其斷面實際腐朽位置與成像影像不完全相符合，有些高估有些低估，故應該進一步校正。

Socco *et al.* (2004) 研究中將斷面顯像結果與利用鑽孔抵抗儀所得的抵抗值進行分析，發現有明顯的相關性 (圖 9)，在顯像中顯示音速較慢的區域，其鑽孔抵抗值亦偏低，在顯像中顯示音速較高的地方，其鑽孔抵抗值亦有較高的傾向。

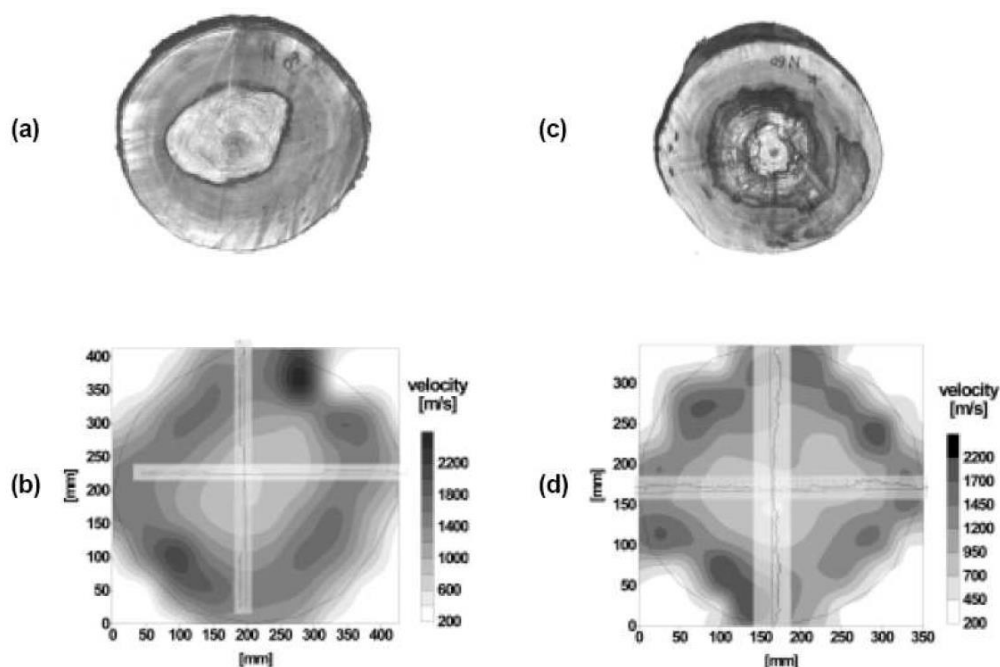


圖 9、斷面顯像與鑽孔阻抗圖譜對照圖 (Socco *et al.*, 2004)

Wang *et al.* (2009) 亦成功地以應力波 2D 斷層技術檢測黑櫻桃樹(Black cherry tree, *Prunus serotina*)的內部腐朽及內裂等缺點 (圖 10)，結果均顯示原木內部之缺陷如裂隙、開裂、空洞、腐朽等缺點，均可由斷面顯像圖形檢視，唯其顯像結果與實際缺損範圍仍需視使用目的，進行進一步分析。

本研究另外將台灣櫟、樟木與紅檜之斷面顯像圖形以平均音速(V_m)與孔洞面積率(Hole area ratio, HA) 進行分析結果，如表 3 所示。結果顯示音速值與孔洞面積呈良好之相關性，且紅檜音速值受孔洞變化較大，因此可利用應力波斷面顯像圖進行影像分析，計算出非破壞數值作為依據，以提供木材缺陷之大小評估。

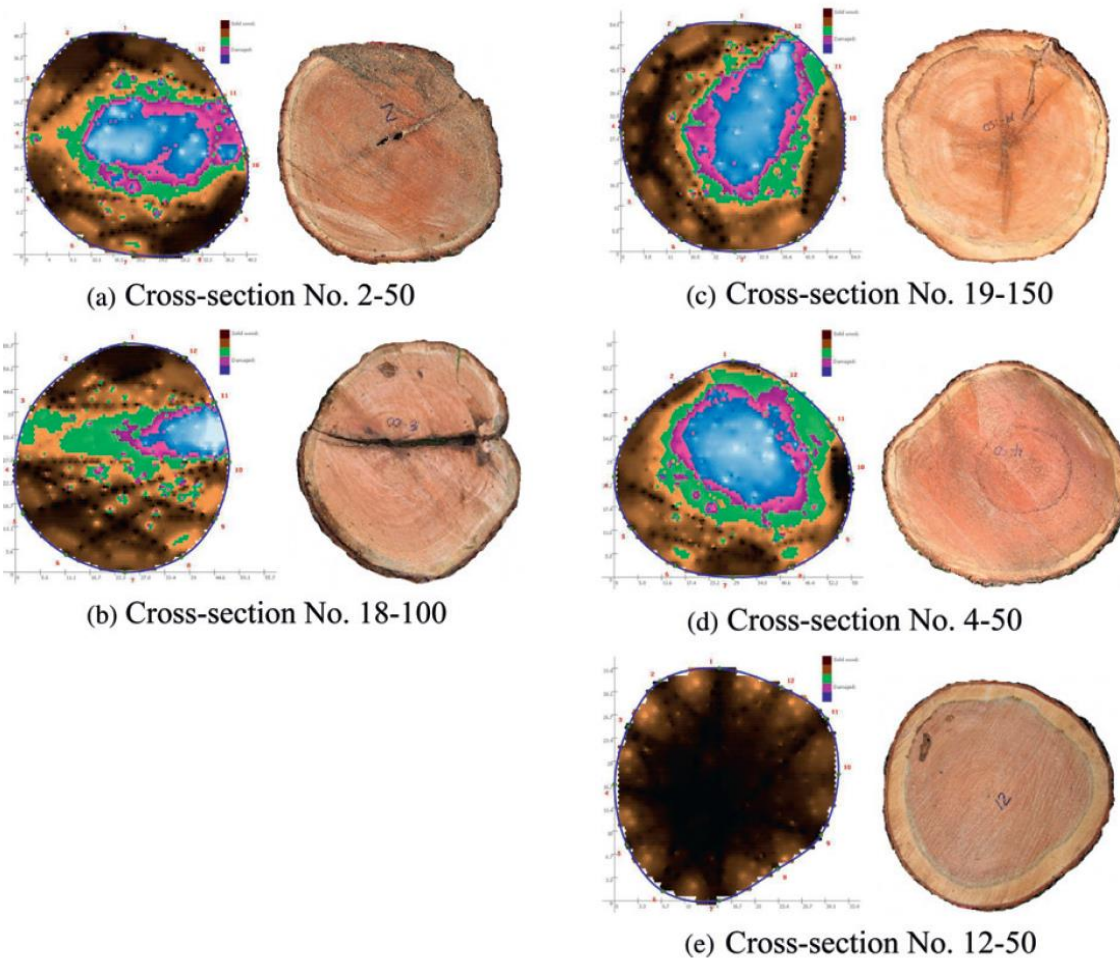


圖 10、應力波斷面影像與木材斷面對照圖 (Wang *et al.*, 2004)

表3、斷面顯像音速值與孔洞面積率關係

迴歸方程式 ($Y=aX+b$)						
材種	Y	X	a	b	R^2	F value
台灣檫			-6.91	1534.08	0.98	570 ^{***}
樟木	V_m	HA	-8.80	1476.53	0.95	200 ^{***}
紅檜			-13.83	1475.70	0.94	175 ^{***}

本研究亦利用一批不具標售價值之漂流木原木進行物理和機械試驗。圖 11 為斷面顯像分區音速值 (V_a) 與木材密度之相關圖，結果顯示 V_a 值與密度呈現良好的相關性 ($r=0.91$)，隨著音速值上升其密度亦有上升之趨勢。表 4 結果顯示，當 V_a 值大於 1300 m/s 時，其平均密度為 0.76 g/cm³、 V_a 值介於 1100-1300 m/s 時，平均密度則為 0.46 g/cm³、 V_a 值小於 1100 m/s 時，則平均密度僅剩 0.38 g/cm³，且各音速區間有明顯的差異。 V_a 值與密度有高度相關，而密度又與木材強度具有正相關性，因此，可以 V_a 值作為材質判別之指標依據。

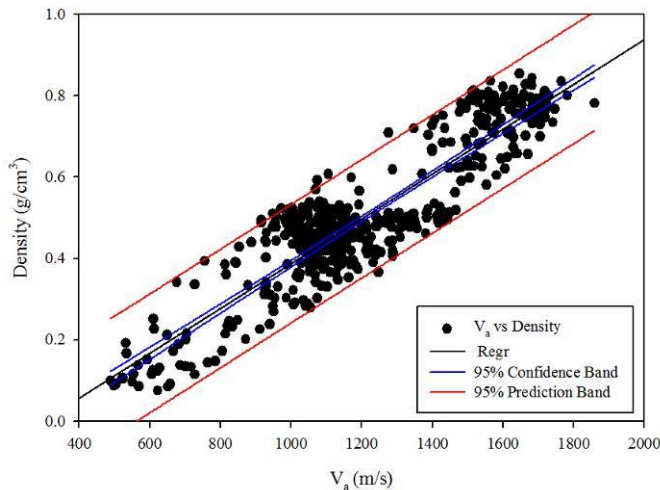


圖 11 V_a 值與木材密度之相關性

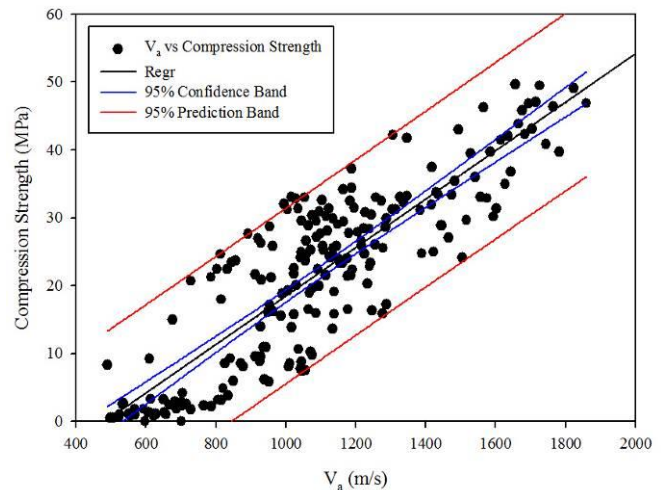


圖 12 V_a 值與木材抗壓強度之相關性

圖 12 為斷面顯像分區音速值 (V_a) 與分區抗壓強度 (Compression strength) 之關係，抗壓強度隨著 V_a 值之增加呈上升趨勢，且呈現良好正相關 ($r=0.86$)。結果顯示， V_a 值介於 500 - 800 m/s 間時，其抗壓強度小於 5 MPa，由於木材之之裂隙、劣化、空洞與腐朽等因素會造音速傳遞障礙，使得 V_a 值下降，而此缺點亦造成木材抗壓強度之損失，將斷面音速進行分級如表 4 結果顯示， V_a 值大於 1300 m/s 者，視為健全材質，其抗壓強度介於 30-50 MPa (平均值：37.2 MPa)； V_a 值介於 1100-1300 m/s 者，其平均抗壓強度降為 26.3 MPa，當 V_a 值降至 1100 m/s 以下時，則平均抗壓強度僅剩 14.1 MPa，因此 V_a 值可作為木材抗壓強度之判別基準。

表 4、斷面顯像音速值與各性質之關係

V_a (m/s)	密度(g/cm ³)	抗壓強度(MPa)	抗彎強度(MPa)
> 1300	0.76 ^{a*}	37.2 ^a	68.8 ^a
1100 - 1300	0.46 ^b	26.3 ^b	46.3 ^b
1100 <	0.38 ^c	14.1 ^c	15.1 ^c

*上標者為 Tukey test 顯著水準為 5%，不同英文字母表示具顯著差異。

圖 13 則為 12 支香杉漂流木之平均音速值 (V_m) 與實大漂流木原木抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 之關係圖，平均音速值 (V_m) 與抗彎強度成良好之正相關性，其 r 值達 0.91，因此，以此法可以作為判定漂流木原木強度之依據。

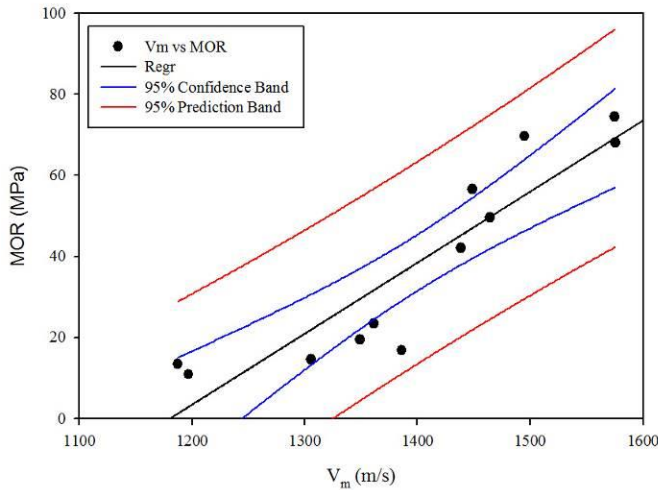

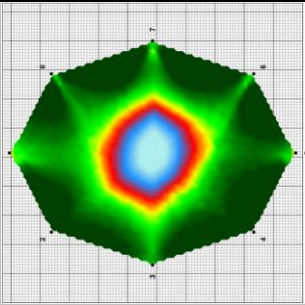

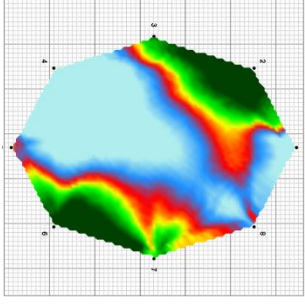

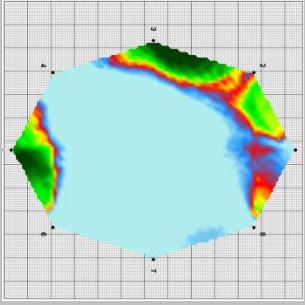

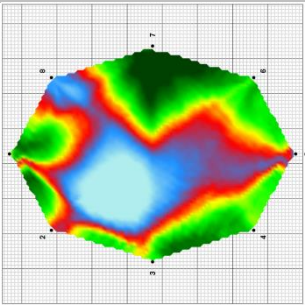

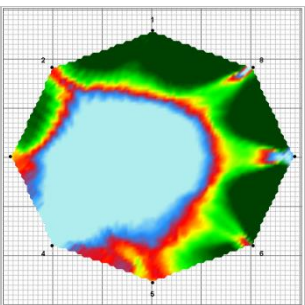


圖 13 香杉漂流木原木平均音速值 (V_m) 與抗彎強度之相關性

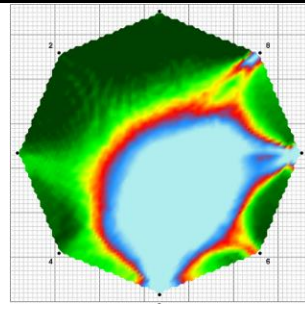
2. 應用斷層顯像技術於現場紅檜漂流木之評估

本案例為林務局花蓮林區管理處玉里工作站漂流木堆置場之紅檜進行案例分析，共挑選 11 根紅檜原木進行應力波斷面影像分析，於現場其中共有 4 根原木具完整切面可供觀察進行比對，其餘 9 根則待後續進行切製。具完整橫斷面之漂流木為編號 E81、C023、C032 和 C041，先進行斷面拍攝再進行斷面影像比對，結果如表 5 所示，照片上之紅色區域為肉眼觀測之缺陷位置，斷面顯像綠色為實質部橫向音速達 1100m/s 以上，黃、紅色為低密度區橫向音速為 650-1000 m/s，藍色則為缺陷處橫向音速 650 m/s 以下，若綠色越深代表其音速值越高。編號 E81 漂流木斷面顯示出中心具有藕朽空洞的情形，斷面顯像亦呈現中心具有孔洞的現象；編號 C023 漂流木於 1-3 號位置有較多的裂痕，且整體裂痕較集中於左側，因此斷面顯像也顯示出左半部受大量裂隙影響造成音速值下降呈現藍色，然而在 8 號位置之裂隙卻無顯現，可能為裂隙過小而無法辨別。C032 亦呈現藕朽情形，與編號 E81 漂流木不同之處為編號 C032 漂流木的缺陷散佈於斷面各處無集中現象，僅 4、5 號探頭位置有較多孔洞，因此 4 號和 5 號傳遞路徑受影響劇烈，而在斷面顯像上藍色缺陷區亦有往 4、5 號偏移的情形。此外，在編號 0741 漂流木之斷面顯像顯示為中心缺陷的型態，經目視評估此漂流木外部亦無任何缺陷，可能為標準之中央缺陷情形，然而其餘的漂流木斷面顯像則顯示缺陷區大都有往邊緣偏移之情形，經目視評估也都具有外部缺損或缺陷型態，但斷面影像顯示深綠色實質部，經目視觀察大都有符合的現象。

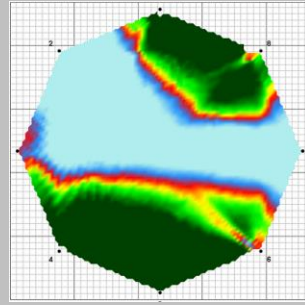
表 5、紅檜漂流木之斷面影像圖與外觀照片

Tree no.	Picture	Tomography
E81		
C023		
C024		
C032		
C035		

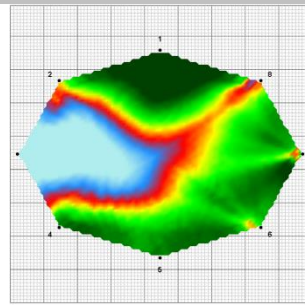
C036



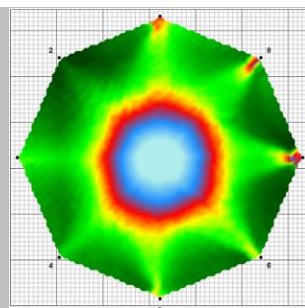
C040



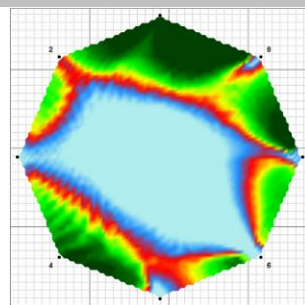
C041



0741



0766





3. 斷面顯像技術於現場漂流木之評估

本次試驗選擇外觀具有缺陷以及外觀完整共 20 根漂流木段木，並於其中央處進行斷面顯像評估，並與實際圓盤斷面進行比較分析。本斷面顯像將顏色分為三部分，綠色為實質部橫向音速達 1100m/s 以上，黃、紅色為低密度區橫向音速為 650-1000 m/s，藍色則為缺陷處橫向音速 650 m/s 以下。表 6 為外觀具缺陷的段木 D1-D10，以斷面顯像評估，段木外層有明顯低密度區和缺陷和內部孔隙情形皆與斷面圓盤相符，原因為漂流木受大量石礫撞擊，表層破壞易受各類蟲害和菌害侵襲形成低密度層或缺陷。表 7 為外觀完整的段木 W1-W10，除 W5、W6 和 W7 外，其餘斷面顯像皆顯示材質良好的狀況（橫向音速達 1100 m/s 以上）。

表 6、外觀具缺陷的段木照片與斷面顯像圖

Tree no.	Picture	Tomogram
D1		
D2		
D3		


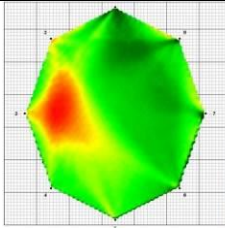


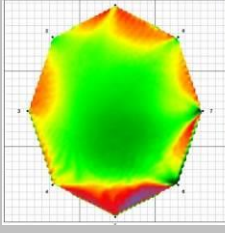


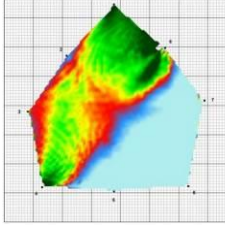


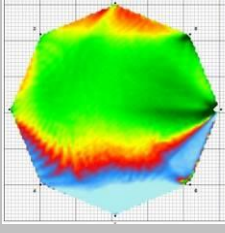


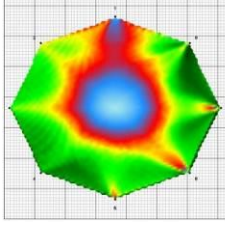


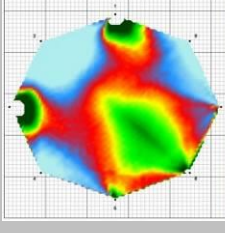


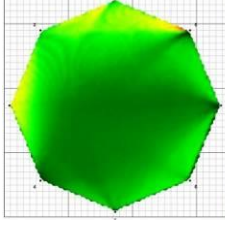


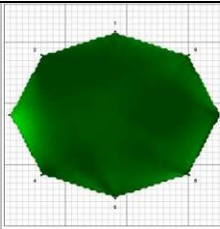


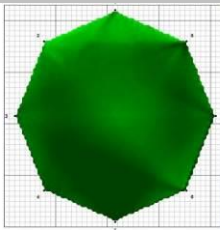


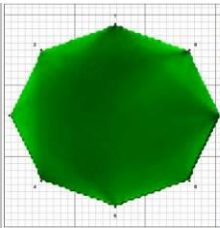


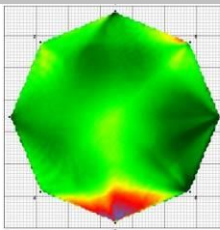


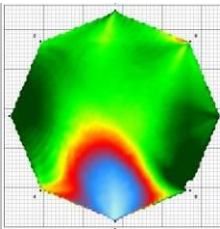


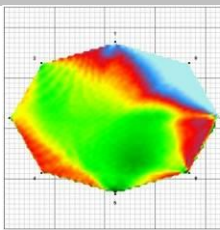

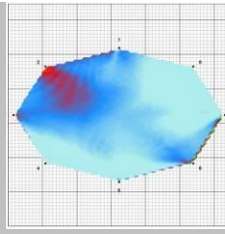
D4				
D5				
D6				
D7				
D8				
D9				
D10				

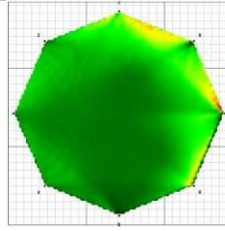
表 7、外觀不具缺陷的段木照片與斷面顯像圖

Tree no.	Picture	Tomogram	
W1			
W2			
W3			
W4			
W5			
W6			

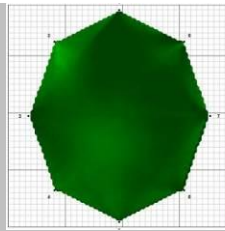
W7



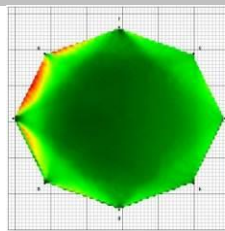
W8



W9



W10

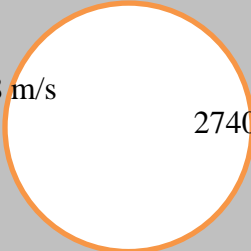
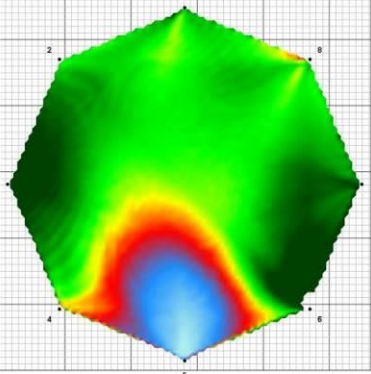
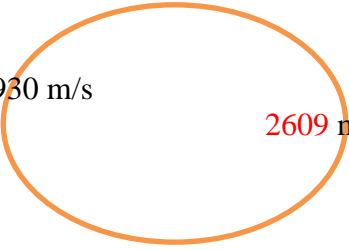
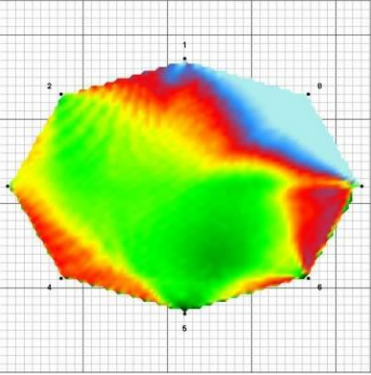
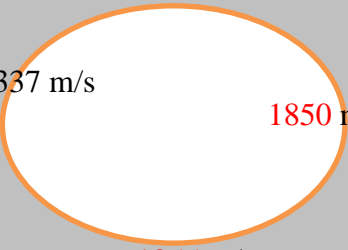
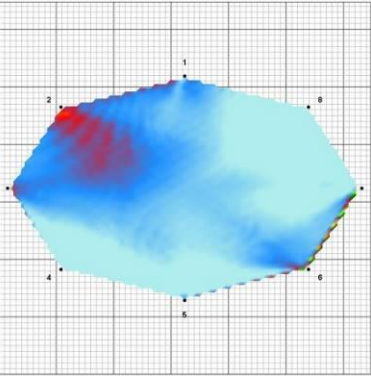


而縱向應力波試驗如表 8 結果指出原木之應力波速為 1871-3727 m/s，平均為 2807 m/s，應力波速之變異相當大，此係本次試驗材料為漂流木，其樹種混雜而非單一樹種，含水率亦不同所致。而表 9 為 W5、W6 和 W7 與縱向音速比較，結果顯示此三段段木平均縱向音速為 W 系列最低三位（1927-2672 m/s），並將各點之縱向音速與斷面顯像對照，顯示出於斷面顯像外層缺陷部（藍、黃色）也有較低的縱向音速值，故可應用縱向應力波法和斷面顯像技術有效進行分等評估。

表 8、漂流木之縱向應力波音速值

漂流木編號	縱向音速值 (m/s)
1	2712
2	-
3	3535
4	-
5	3135
6	3130
7	3025
8	2551
9	1871
10	2846
11	2673
12	3151
13	1908
14	2187
15	1927
16	3193
17	3727
18	3226
19	3181
20	2344
21	3007

表 9、斷面顯像圖與縱向音速比較

Tree no.	Longitudinal Velocity	Tomogram
W5	 <p>2779 m/s 2618 m/s 2740 m/s 2070 m/s</p>	
W6	 <p>2127 m/s 2930 m/s 2609 m/s 3023 m/s</p>	
W7	 <p>1667 m/s 2337 m/s 1850 m/s 1855 m/s</p>	

4. 健全漂流木之強度分析

漂流木經製材後，以強度試驗機進行抗彎試驗結果如表 10 所示。經彈性模數分等，可分為 E50-E150 等六個等級，隨等級提升，抗彎強度性質隨之增加，同時密度亦有增加之現象。整體而言，本次試驗之漂流木密度介於 643-792 kg/m³，抗彎強度則約 40.7-93.8 MPa 抗彎彈性模數則約為 5.4-15.0 GPa，另外比較動彈性模數與抗彎彈性模數方面，動彈性模數約較抗彎彈性模數高約 15.1-20.0%，相關係數 (r) 為 0.82，具有良好之相關性，而動彈性模數較抗彎彈性模數為高，主要是可能係因抗彎試驗時含有扭轉變形、剪力成分等致使撓曲增大，又撓度之測定包含受力點之局部壓潰凹陷變形，以及荷重時間較長，多少有潛變產生等因素造成，而動態法所測得之動彈性模數因作用力週期短，試材本身僅受到短暫衝擊，幾乎沒有潛變作用現象發生(吳順昭等, 1974, Halabe *et al.*, 1997)。蔡如藩(1985)亦指出造成動彈性模數較抗彎彈性模數大之原因可能係抗彎試驗時，木材承受荷重時間較長，而發生塑性流動、塑性變形、彈性遲滯、彈性餘效等因素影響所致。而抗彎彈性模數與抗彎強度之相關係數 (r) 則為 0.87。

表 10、不同等級漂流木之強度分析

E-rated	Density (kg/m ³)	DMOE (GPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
E50	643(4.6)	6.4(5.2)	5.4(6.3)	40.7(10.8)
E70	652(3.8)	8.9(4.3)	7.5(3.6)	59.9(9.8)
E90	690(4.1)	10.7(6.8)	9.1(5.6)	72.6(10.4)
E110	692(6.8)	12.6(8.9)	10.5(5.8)	82.8(10.2)
E130	722(8.1)	14.5(9.2)	12.6(4.9)	91.6(9.8)
E150	792(3.2)	17.4(6.4)	15.0(4.6)	93.8(8.6)

The value in parentheses represent coefficient of variation

5.教育訓練相關資料

本計畫分別於2013年7月5日、7月11日與7月12日假羅東林區管理處、東勢林區管理處與屏東林區管理處辦理教育訓練課程(圖14、圖15)，各林區管理處之林業同仁均踴躍參與此訓練課程，其相關訓練資料如附件二(簽到表)和附件三(教育訓練講義)。



圖 14 應力波斷面顯像技術教育訓練



圖 15 應力波斷面顯像技術教育訓練

四、結論

本計畫「應力波斷面顯像技術在漂流木應用之研究」完成三種具標售價值漂流木（紅檜、台灣檫、樟木）水分變異對橫向應力波音速之影響效應，以及人工模擬孔洞之應力波音速值評估，此外此技術亦應用於現場漂流木之檢測評估以及漂流木之強度性質分佈等試驗，其結果分述如下：

1. 在人工孔洞之基礎試驗方面，由模擬不同孔洞大小的結果得知，以利用斷面顯像技術評估木材內部缺陷時，當孔洞面積約為 1% 時可偵測出其與周圍之差異，孔洞面積達約 3% 時則可明顯偵測出與周圍的差別，因此，可利用應力波斷面顯像技術評估木材內部缺陷大小和位置。
2. 台灣檫、樟木與紅檜之斷面顯像圖形以平均音速 (V_m) 與孔洞面積進行分析結果，顯示音速值與孔洞面積成良好之相關性，其 R^2 值達 0.94-0.98。
3. 斷面顯像分區音速值 (V_a) 與木材密度間具有良好相關性，其相關係數達 0.91，隨著音速值上升其密度亦有上升之趨勢。當 V_a 值大於 1300 m/s 時，其平均密度為 0.76 g/cm^3 、 V_a 值介於 1100 – 1300 m/s 時，平均密度則為 0.46 g/cm^3 、 V_a 值小於 1100 m/s 時，則平均密度僅剩 0.38 g/cm^3 ，因此， V_a 值可作為材質判別之指標依據。
4. 斷面顯像分區音速值 (V_a) 與分區抗壓強度間亦呈現良好正相關，其相關係數達 0.86。以 V_a 值進行區分結果顯示， V_a 值大於 1300 m/s 者，視為健全材質，其抗壓強度介於 30 – 50 MPa (平均值：37.2 MPa)； V_a 值介於 1100 – 1300 m/s 者，其平均抗壓強度降為 26.3 MPa，當 V_a 值降至 1100 m/s 以下時，則平均抗壓強度僅剩 14.1 MPa，因此 V_a 值可作為木材抗壓強度之判別基準。
5. 斷面顯像平均音速值 (V_m) 與實大漂流木原木抗彎強度具良好之正相關性，其相關係數達 0.91，因此，以此法可以作為判定漂流木原木抗彎強度之依據。
6. 應用斷層顯像技術於現場漂流木之評估方面顯示，可搭配應用縱向應力波法和斷面顯像技術進行漂流木之檢測，此法可較目視判別更有效與準確的評估漂流木內部材質狀態。
7. 在健全漂流木之強度分析方面，經分級之漂流木抗彎強度為 40.7-93.8 MPa，抗彎彈性模數為 5.4-15.0 GPa，參考 CNS 國家標準可分為 E50-E150 等級，因此，健全之漂流木經過分級後，可依其強度性質進行後續之應用，同時可利用應力波法作為材質檢測與強度評估之用。

參考文獻

- 王松永 (1984) 木材動力學與音響學特性之研究(I)木材音速影響因子之研究，台大實驗林研究報告 150：1-23。
- 吳順昭、黃彥三、高健章 (1974) 強制振動法木材彈性模數之測定。中華林學季刊 7(2)：49-55。
- 蔡如藩 (1985) 木材力學性質。徐氏基金會，台北，台灣。pp.61-78。
- 川上敬介(2008)スギ3層クパネルの住宅用部材としての性能と展開。木材工業 63(3)：108-113
- Brown HP, Panshin AJ, Forsaith CC (1952) Textbook of Wood Technology Vol II, pp. 127-154.
- Biker, D., R. Kehr, G. Weber and S. Rust (2010) Non-destructive monitoring of early stage of white rot by *Trametes versicolor* in *Fraxnus excelsior*. Ann. For. Sci. DOI:10.105/forest/2009103
- Brazeo, M. J., R. E. Marra, L. Göcke and P. V. Wassenauer (2010) Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. Forestry DOI:10.1093/forestry/cpq040.
- Cown DJ, Walford B, Kimberley MO (1995) Cross-grain effect on tensile strength and bending stiffness of *Pinus radiata* structural lumber. N Z J Sci 25(2):256 – 262.
- Divos F, Szalai L (2002) Tree evaluation by acoustic tomography. Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. August 19-21, 2002. University of California, Berkeley Campus California, USA. pp. 251-56.
- Dickson RL, Matheson AC, Joe B, Ilic J, Owen JV (2004) Acoustic segregation of *Pinus radiata* logs for sawmilling. N Z J Sci 34(2):175 – 189.
- Gsell D, Feltrin G, Schubert S, Steiger R, Motavalli M (2007) Cross laminated timber plates: Evaluation and verification of homogenized elastic properties. J. of Structural Engineering. 133(1): 132-138.
- Halabe, UB, Bidigalu GM, Gangarao HVS, Ross RJ (1997) Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. Materials Eval. 55(9):1013-1018.
- Jones TG, Emms GW (2010) Influence of acoustic velocity, density, and knots on the stiffness grade outturn of radiata pine logs. Wood and Fiber Sci. 42(1): 1-9.
- Kazemi_Najafi, S., A. Shalbafan and G. Ebrahimi (2009) Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. Eur j forest res. 128: 345–350
- Lin CJ, Chiu CM, Wang SY (2000) Application of ultrasound in detecting wood decay in squirrel-damaged standing trees of Luanata China fir. Taiwan Forest Science 15(2):267-79.
- Li L, Wang X, Wang L, Allison R.B. (2009) Acoustic tomography in relation to 2D ultrasonic velocity and hardness mapping. Wood Sci. Technol DOI 10.1007/s00226-011-0426-y

- Mattheck CG, Breloer H (2003) The body language of trees. A handbook for failure analysis. London: Office of the Deputy Prime Minister, the Stationery Office. p 202-9.
- Martinis R, Socoo LV, Sambuelli L, Nicolotti G, Schmitt O, Bucur V (2004) Tomographie ultrasonore pour les arbres sur pied Ann. For. Sci. 61:157-162.
- Ross RJ, Pellerin RF (1991) Stress wave evaluation of green material: Preliminary results using dimension lumber. For. Prod. J. 41(6): 57-59.
- Sandoz JL (1989) Grading of Construction Timber by Ultrasound. Wood Sci. Technol. 23: 95-108.
- Sandoz JL (1994) Valorization of forest products as building materials using nondestructive testing. Proceedings of the 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. September 22-24, 1993. Inn on the park, Madison, Wisconsin, USA. pp. 103-9.
- Socco L V, Sambuelli L, Martinis R, Comino E, Nicolotti G (2004) Feasibility of ultrasonic tomography for nondestructive testing of decay on living trees. Research in Nondestructive Evaluation. 15:31-54.
- Steiger R, Gulzow A, Dsell D (2008) Nondestructive evaluation of elastic material properties of cross laminated timber (CLT). Conference COST E53, 29-30 October, The Netherlands.
- Tsehaye A, Buchanan AH, Walker JCF (2000) Sorting of logs using acoustics. Wood Sci. Technol. 34: 337 – 344.
- Wang SY, Chiu CM, Lin CJ (2002) Variation in Ultrasonic Wave Velocity and Dynamic Young's Modulus with Moisture Content for Taiwan Plantation Lumber. Wood and Fiber Science 34(3): 370-381.
- Wang SY, Chuang ST (2000) Experimental Data Correction of the Dynamic Elastic Moduli, Velocity and Density of Solid Wood as a Function of Moisture Content above the Fiber Saturation Point. Holzforschung 54: 309-314.
- Wang X, Divos F, Pilon C, Brahaw BK, Ross RJ, Pellerin RF (2004) Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. General Technical Report FPL-GTR-147.
- Wang X and Bruce R. B. (2008) Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. Arboriculture & Urban Forestry 34(1):1-4.
- Wang X, Wiedenbeck J, Liang S (2009) Acoustic tomography for decay detection in black cherry trees. Wood and Fiber Science 41(2):127-137.
- Yamamoto K, Sulaiman O, Hashim R (1998) Nondestructive detection of heart rot on Acacia mangium trees in Malaysia. Forest Products Journal 48(3):83-6.

期中簡報審查意見回覆表

審查意見	意見回覆
<p>(一) 藍委員浩繁</p> <p>1.本計畫以應力波斷面顯像技術探討漂流木性質供未來應用，甚具參考應用價值</p> <p>2.孔洞面積率(HA%)文中宜統一，面積應修正為cm²。</p> <p>3.相關係數r與R²表示差異性</p> <p>4.以應力波斷面判讀木材缺陷是否與木材結構性具相關性，第25頁缺陷區朝邊緣區偏移主要因為何？</p> <p>5.有關應力波斷面顯像技術影響因子如何校正？</p>	<p>1.謝謝委員審查</p> <p>2.謝謝委員意見，並已修正於文中。</p> <p>3.r為相關係數，R²為決定係數，兩者均可作為表示回歸式之準確性與可行性。</p> <p>4.謝謝委員意見，應力波斷面顯像原理係以應力波傳遞速度為主，經試驗結果橫向應力波之速度受水分影響較小，在FSP以上，三種樹種之應力波速變異係數為1.3-2.3%，因此可以忽略水分影響。是故若木材具有腐朽、開裂與空洞缺陷發生，便會影響其應力波之傳遞，增加其傳遞時間，以此可評估木材缺陷發生與否。缺陷區朝邊緣偏移原因可分為：1.空洞缺陷過大，2.測點探頭不足兩原因。</p> <p>5.謝謝委員意見，此部分在水分影響上，經試驗結果已可排除其影響，樹種上則是建立紅檜、台灣檫與樟木三種具經濟價值樹種之基礎資料，至於不具標售價值者，則以軟體內建之屬別應用之。</p>
<p>(二) 邱委員祈榮</p> <p>1.應力波於斷面中行進路徑，建議以路徑通過不同介質(穿過孔洞之數目或長度)作為討論之依據</p> <p>2.室內試驗部分與野外檢測方法應如何連結？建議期末應予說明。</p>	<p>1.謝謝委員意見。由於其以顯像方式表示，由色塊欲區分其穿過孔洞數目是有困難的，因此在整體試驗中希望能夠建立的資訊係以色塊所顯示面積與實際面積之差異。</p> <p>2.謝謝委員意見，室內試驗以經濟樹種為主，建立之目的乃是為了在戶外辨識與檢測時能有所依據，在本年度中，本研究團對進行了花蓮處、台東業者與石門水庫之漂流木現場試驗，其中，在台東與石門水庫之漂流木經斷面顯像試驗後，與實際破壞結果顯示具有高度的相關性，因此此法可直接應用於戶外檢測評估。</p>

<p>(三) 劉委員正字</p> <p>1.第3頁第6行，其傳播時間愈大的趨勢，建議改為有愈長的趨勢。</p> <p>2.第5頁(3)空動面積比值建議改為孔洞面積率俾與文中所述一致，另外，A：圓盤面積之單位應為cm^2，$HA(\%) = a/A \times 100$</p> <p>3.第6頁，2-3-1，0.58-0.82，建議改為0.58~0.82，0.71-0.87改為0.71~0.87，右圖4、5、6其孔洞面積率在達5.9%、. %及34%時很難看出應力波有下降之趨勢，是否宜將圖做局部放大。</p> <p>4.本文中未見有對圖10、11、112、13做說明</p> <p>5.第14頁，2-3-5，圖15顯示斷面顯像針對較邊緣缺陷有放大之判讀，其原因請做更詳細之說明。</p> <p>6.表3中之回歸方程式X與Y所代表者與表1不同，有無統一之必要。</p> <p>7.表6之W5、W6、W7為W系列中平均縱向音速最低者，其他W1-W10各為多少，請予列出。</p> <p>8.圖22之標題應明示其為No.1與No.4圓盤一起進行分析者。</p> <p>9.表7中，Tomography各號位置不清楚</p>	<p>1.謝謝委員的意見，將於期末報告中修正。</p> <p>2.謝謝委員的意見，將於期末報告中修正。</p> <p>3.謝謝委員的意見，本節原討論各項應力波傳遞路徑之變化，在期末報告中，已修正用顯像圖形表示。</p> <p>4.謝謝委員的意見，同前述，本節原討論各項應力波傳遞路徑之變化，以及當缺陷發生在不同位置時其路徑之時間變化，但透過顯像圖形已可顯示其缺陷區塊，因此於期末報告中刪除此討論部分。</p> <p>5.謝謝委員意見，應力波斷面顯像確實在邊緣缺陷有放大之效應，其原因為位於邊緣之缺陷型態影響之路徑較多，因此數值上較不易判讀，若使用較多探頭可改善之，此外，於目視外觀以及利用鑽孔抵抗設備亦可確定。</p> <p>6.謝謝委員意見，將統一修正於文中。謝謝委員意見。</p> <p>7.本部分是以當邊緣缺陷發生其橫向音速與縱向音速之相關表示比較，因此選擇W5、W6、W7三者具有此缺陷者於1、3、5、7方向之縱向音速比較；至於其他健全者則依含水率之不同而有變異。</p> <p>8.謝謝委員意見。</p> <p>9.謝謝委員意見，由於截圖之關係，其所示號數較小，其偵測點與時實際圖示分別為1-8號(逆時針排列)。</p>
--	---

<p>(四) 楊組長竣憲</p> <p>1.計畫中有編列設備費，其設置是否已採購。</p> <p>2.去年有類似計畫，本年度計畫內容有何不同？</p> <p>3.其採購儀器有無尺寸之限制，最大可達多少？</p>	<p>1.本設備於期中報告後將進行採購。</p> <p>2.謝謝組長意見。本年度以建制設備與製作評估手冊為主，透過前期研究以及本年度之基礎與實測案例分析，做成應用評估手冊，可供現場人員參考使用。</p> <p>3.謝謝組長意見。 以目前實際測量之漂流木而言，8點探頭均可偵測其缺陷，此設備最大可擴充至32組探頭，但在經濟效益上以8-16點即可測得。</p>
---	--

期末簡報審查意見回覆表

審查意見	意見回覆
<p>(一)劉委員正字：</p> <p>1.第 7 頁第 2 段倒數第 3 行，2 X 2cm 是否指每格的大小，如是，宜改為 2cm x 2cm 或 2 x 2cm²。</p> <p>2.第 7 頁(3)、(4)式中跨距，應與文中說明所用的小寫英文字母 <i>l</i> 或 <i>l</i> 表示。</p> <p>3.圖 2 中，110mm 者其缺陷部區域影相似乎看不出有轉為藍色，而 130mm 者明顯出現藍色。圖 3 則 110mm 已呈藍色，圖 4 便在 110mm 之前已呈藍色。</p> <p>4.第 11 頁第 5 行，...然而紅檜、台灣檫於 150mm...，台灣檫應為樟木，又圖 6 並沒有 150mm。</p> <p>5.圖 10 中之 HA 在本報告中乃第一次出現，應註明其為孔洞面積率。</p> <p>6.圖 11 及圖 12 標題為木材密度與抗壓強度，為何種樹種應予註明。又圖 13 應註明為香杉。</p> <p>7.第 20 頁，3.現場漂流木，如果可能，請對漂流木樹種做些描述。</p> <p>8.W 系列，除 W5、W6 和 W7 外，其他編號者有無關於縱向音速之試驗數據，如有，請列出俾做比較。又表 7 中之音速，黑紅不同顏色，代表何意義。</p> <p>9.漂流木斷面影像第 19 頁，第四章，二...依序將感應器一編號位置...是否應為...依序將感應器依編號位置...。請斟酌。</p>	<p>1.謝謝委員指正，已修正於文中。</p> <p>2.謝謝委員指正，已修正於文中。</p> <p>3.謝謝委員指正，各樹種已分開討論，並修正於文中。</p> <p>4.謝謝委員指正，已修正於文中。</p> <p>5.謝謝委員指正，已註明孔洞面積率。</p> <p>6.圖 11 與圖 12 所列者為不具標售價值漂流木之 V_a 與密度、抗壓強度相關圖，由於不具標售價值之漂流木樹種繁雜且未進行鑑定，因此無法明示其樹種；圖 13 則為香杉，並已標註。</p> <p>7.謝謝委員指正，第 20 頁之現場漂流木大多為不具標售價值之雜木，由於種類繁雜，因此未進行樹種之鑑定。</p> <p>8.謝謝委員指正，已加入表 8 漂流木之縱向音速值，由於縱向音速值易受含水率影響，故挑選較具差異之案例進行討論，而表中之黑紅顏色各代表為，材質相對較佳之音速值（黑），材質相對較差之音速值（紅），與斷面顯像對照。</p> <p>9.謝謝委員指正，已修正於文中。</p>

<p>10.手冊第 49 頁，第一節第一行，...顯像儀對於水分之影響，建議改為...顯像儀受水分之影響較妥。</p> <p>11.手冊第 52 頁，圖 6-3 之 110mm 及 130mm 是否為第 12 頁圖 5 之 130mm 及 150mm；又圖 6-4 之 110mm 及 130mm 是否為圖 7 之 130mm 及 150mm，請查明。建議手冊中第六章各樹種斷面顯像試驗圖直接採用報告本文中相當之各圖。</p>	<p>10.謝謝委員指正，已修正於文中。</p> <p>11.謝謝委員指正，手冊圖已重新修正。</p>
<p>(二)邱委員祈榮：</p> <p>1.第 16-17 頁，圖 11-13 應有統計分析結果切分斷點之依據，同時圖名應與手冊一致。</p> <p>2.手冊第 16 頁表格應中文化。</p> <p>3.目視評估與敲擊法應建立明確評估項目及標準做為實施之依據。</p> <p>4.應建立應力波斷面顯像評估標準，建議可考慮木材樹種之差異，可考慮以應力強度均質與否之說明。</p>	<p>1.謝謝委員指正，統計分析已建立於表 4。</p> <p>2.謝謝委員指正，表 1-2 已中文化。</p> <p>3.已於手冊第四章之圖 4-1 加列進行解說，謝謝委員指正。</p> <p>4.謝謝委員建議，由於珍貴樹種木材不易取得故木材樹種之差異不易進行，因此本報告以紅檜、台灣櫟及樟木為主進行基礎試驗，破壞試驗則以香杉漂流木為試材。</p>
<p>(三)藍委員浩繁：</p> <p>1.符合期末審查標準。</p> <p>2.編定漂流木斷面顯像評估技術手冊，具實務應用依據價值。</p> <p>3.該技術手冊，宜編目錄以供參閱便利性及增列結論。第五章宜註明儀器產品規格等，請第 16 頁相關資料可移至此章節。</p>	<p>1.謝謝委員。</p> <p>2.謝謝委員。</p> <p>3.謝謝委員建議，目錄已編列於手冊中，相關儀器之說明亦增列於文中。</p>
<p>(四)造林生產組：</p> <p>1.手冊部分植物名稱建議改為櫟木(台灣櫟)、巒大杉(香杉)，及有些重要樹種沒列入如牛樟、紅豆杉、帝杉等。</p>	<p>1.台灣櫟、香杉名稱已修正。牛樟、紅豆杉與帝杉亦增列於手冊中。</p>

<p>2.教育訓練相關資料(如參加情形、遇到問題等)須納入報告中。</p> <p>3.手冊名稱建議改成應力波斷面顯像技術使用手冊。</p> <p>4.應力波斷面顯像儀檢測方式能否以簡略方式施行，俾縮短檢測時間。</p> <p>5.手冊目錄順序建議依序改為第一章斷面顯像技術原理、第二章目視評估和敲擊法、第三章應力波斷面顯像儀檢測技術之實施、第四章現場施作流程、第五章應力波斷面顯像儀之案例分析、第六章常見具經濟價值漂流木種類。</p>	<p>2.教育訓練相關資料已增列於附件二（簽到表）與附件三（教育訓練講義）中。</p> <p>3.謝謝委員建議，手冊名稱已修正為應力波斷面顯像技術使用手冊。</p> <p>4.檢測流程已於圖 4-1 說明，本案以 8 點檢測為主，可達較精確之評估，若以時間考量 2 點之應力波檢測亦可行。</p> <p>5.手冊章節內容已依建議修正。</p>
---	---